

## 8×8 单元 CsI(Tl) 探测阵列研制

姚向武<sup>1,2</sup>, 杨彦云<sup>1,2</sup>, 王建松<sup>1</sup>, 黄美容<sup>1,2</sup>, 高启<sup>1,2</sup>, 郭忠言<sup>1</sup>,  
肖国青<sup>1</sup>, 徐珊珊<sup>1</sup>, 胡正国<sup>1</sup>, 余玉洪<sup>1,2</sup>, 仇浩<sup>1,2</sup>, 严鑫帅<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院近代物理研究所, 甘肃兰州 730000;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 描述了1个8×8单元CsI(Tl)探测阵列的结构和工作原理。探测阵列的每个单元是由1块前表面21 mm×21 mm、后表面23.1 mm×23.1 mm、高50 mm的CsI(Tl)棱台、1块光导和光电倍增管组成。在兰州放射性次级束流线(RIBLL)上对探测阵列进行测试,得到探测阵列对30 MeV质子的能量分辨可达2.7%,对170 MeV <sup>7</sup>Be可达1.5%,可很好地用于放射性束物理实验中带电粒子的鉴别。

**关键词:** 能量分辨; 脉冲形状甄别; 带电粒子; 粒子鉴别

**中图分类号:** O571      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2010)03-0358-04

## Development of 8×8 CsI(Tl) Array Detector

YAO Xiang-wu<sup>1,2</sup>, YANG Yan-yun<sup>1,2</sup>, WANG Jian-song<sup>1</sup>, HUANG Mei-rong<sup>1,2</sup>,  
GAO Qi<sup>1,2</sup>, GUO Zhong-yan<sup>1</sup>, XIAO Guo-qing<sup>1</sup>, XU Hu-shan<sup>1</sup>,  
HU Zheng-guo<sup>1</sup>, YU Yu-hong<sup>1,2</sup>, QIU Hao<sup>1,2</sup>, YAN Xin-shuai<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The principle and structure of a 8×8 CsI(Tl) array detector were described in this paper. For each unit, there are a CsI(Tl) crystal, an optical conductor and a photoelectric multiplier tube. The length of CsI(Tl) crystal is about 50 mm with a 21 mm×21 mm front surface and a 23.1 mm×23.1 mm back surface. The energy resolution is 2.7% for 30 MeV proton and 1.5% for 170 MeV <sup>7</sup>Be, which was tested on the RIBLL (Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou). It can be used to identify the charged particles in the nuclear experiments induced by the radioactive beam.

**Key words:** energy resolution; pulse shape discrimination; charged particle; particle identification

随着放射性束物理的发展,很多新的物理现象被发现,如质子晕、中子晕、新幻数的发现

收稿日期:2009-01-06;修回日期:2009-04-16

基金项目:中国科学院“百人计划”资助项目(O501080BR0);国家自然科学基金资助项目(10221003,10605033,10635080);国家“973”计划资助项目(2007CB815000)

作者简介:姚向武(1982—),男,甘肃庆阳人,硕士研究生,实验核物理专业

等。这些现象的出现对传统的核理论提出了挑战,理论上使得一些原来描述稳定核的模型不再适用,促使人们建立新的、更普适的模型。RIBLL<sup>[1]</sup>(兰州放射性次级束流线)为弹核碎裂型(PF型)放射性束流线,可提供寿命短至 $\mu\text{s}$ 量级的放射性束流。但PF型放射性束流线提供的束流品质比重离子加速器所提供的稳定核束流差很多,这就对实验设备提出了更高的要求,例如:覆盖较大的立体角,且具有相互独立的探测单元;好的位置分辨;好的能量分辨;好的时间性能等。在放射性束物理实验中,有些反应道的截面很小,反应产物的角分布也较广,为了有高的探测效率以满足实验的统计量,同时也为了探测反应的空间关联,探测器必须覆盖较大的立体角,并由相互独立的探测单元组成<sup>[2-3]</sup>。好的位置分辨和能量分辨是对反应产物完全运动学测量以及在碎裂反应中重构不变质量谱的基础。同时, $\Delta E-E$ 及磁场偏转等鉴别粒子的方法亦需探测器具有好的位置分辨和空间分辨;在实验中如需进行飞行时间法鉴别粒子,则探测器必须具有良好的时间性能。CsI(Tl)、BGO、GSO等闪烁体由于其阻止本领高、动态范围大、可塑性好、能量响应基本线性、性价比高等优点,能很好地满足上述探测装置的要求。

本工作研究8×8单元CsI(Tl)探测阵列的结构和性能等相关问题,并通过用 $\alpha$ 源和在束测试结果对该探测器系统性能进行评价。

## 1 探测阵列结构

研制的8×8单元探测阵列的整体结构如图1所示,它由64块CsI(Tl)晶体组成,每块晶体使用光电倍增管单独读出。为减少电磁干扰,每只光电倍增管外套1个铁制屏蔽筒,整个阵列探测器由1个可拆分为8部分的铝支架固定。使用的CsI(Tl)晶体由中国科学院近代物理研究所研制生长,晶体为前表面21 mm×21 mm、后表面23.1 mm×23.1 mm、高50 mm的棱台。

由于CsI(Tl)晶体的后表面为23.1 mm×23.1 mm的正方形,而光电倍增管的光阴极为 $\phi 19$  mm的圆面,为了使晶体与光电倍增管之间有较好的匹配,使用航空有机玻璃制作了光

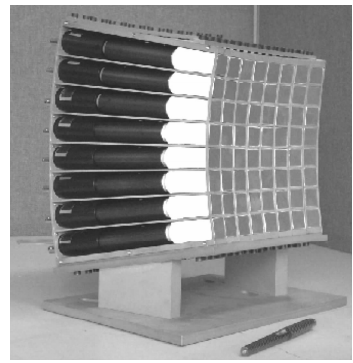


图1 CsI阵列结构图

Fig. 1 Structure scheme of CsI array

导,光导侧面同样使用Teflon带包裹。光导的使用一般会导致闪烁光损失,从而导致能量分辨变差。对闪烁体与光电倍增管之间直接使用硅脂耦合(中间无光导)和加上光导两种情况进行测试发现,加光导后探测单元的能量分辨并未明显变差(未加光导时,闪烁体的分辨率为7.4%,加光导后为7.7%),因此,使用的光导有很好的光传输效果。

晶体与光导使用BICRON公司生产的BC-600光学胶粘接,起到固定和光学耦合的作用。对光导与光电倍增管之间,考虑使用硅脂耦合和使用光学胶粘接两种备选方法,经测试发现,两种耦合方式对探测单元能量分辨的影响基本相当。考虑到方便安装以及光电倍增管的再次利用,光导和光电倍增管间直接使用BICRON公司生产的BC-630硅脂进行耦合。

光导前表面与晶体后表面的尺寸完全匹配,而光导的后表面为 $\phi 16$  mm的圆面,小于光电倍增管的光阴极面,因光电倍增管只有中间 $\phi 16$  mm的区域为有效面积。为了保持光导始终在光电倍增管的有效区域,用聚四氟乙烯制作套筒,以固定光导与光电倍增管。

该探测器使用的光电倍增管为Hamamatsu生产的R1213型<sup>[4]</sup>,光响应波长为300~650 nm,敏感波长的峰值为420 nm,与闪烁晶体有较好匹配。光电倍增管的上升时间为1.9 ns,渡越时间为21 ns,打拿极级数为10,增益为 $6.7 \times 10^5$ ,光阴极灵敏度为105 mA/lm,阳极灵敏度为60 A/lm。

探测器覆盖的立体角和位置分辨能力由其结构所决定。如果探测器放置在距靶心50 cm

的位置,覆盖的 $\theta$ 角为 $-11^\circ\sim 11^\circ$ , $\phi$ 角为 $0^\circ\sim 360^\circ$ ,覆盖的总的立体角为147 msr。由于该探测器用于测量放射性束流打靶反应后的碎裂产物,反应产物基本聚集于前角区,因此,这个立体角基本可满足实验需要。每1块晶体覆盖1.76 msr,这也是所能达到的位置分辨。

## 2 探测器测试性能

闪烁体的性能对整个探测器性能至关重要,因此,对每块闪烁晶体使用三组分 $\alpha$ 源进行测试。测试的每块闪烁体使用Teflon包裹前表面和侧面,其中,前表面的包裹层留有一小孔,三组分 $\alpha$ 源贴在小孔处。闪烁体的后表面使用硅脂直接与光电倍增管耦合,并使用Teflon固定闪烁体和光电倍增管以及包裹闪烁体后表面大于光电倍增管的部分。然后,对每块闪烁体进行能量测试,从中选择64块能量分辨较好的闪烁体为探测器所用。最终选择的64块闪烁体各单元能量分辨示于图2。

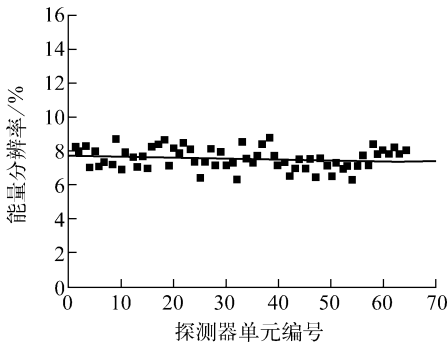


图2 64块晶体的能量分辨

Fig. 2 Energy resolution of crystals

基于该探测器的研制目标,探测器的能量分辨对探测器至关重要。使用三组分 $\alpha$ 源对探测器单元在靶室中抽真空进行测试。最初的测试表明,探测器的能量分辨很差,大于10%,能量分辨差的原因是三组分 $\alpha$ 源本身的能量分别仅为5.785、5.468和5.157 MeV,而放射源有一部分是斜入射穿过铝膜进入探测器的,导致能量发散。在实验中,入射粒子能量较高,且探测器距靶心较远,斜入射的影响相对较小,且实验中可通过确定粒子的轨迹来修正铝膜上的能损。因此,用放射源对前表面未包裹任何物品

的探测器单元再进行1次测试。测试结果(图3)显示,探测器对 $\alpha$ 的能量分辨约为7%~8%。在实验中,射线的能量远大于放射源的能量,而闪烁体探测器的能量分辨在能量高的情况下会有所改善。另外,在测试中,探测器前表面未包裹任何物品而会影响光的收集;放射源在CsI(Tl)闪烁体中的射程约为5  $\mu\text{m}$ ,而CsI(Tl)闪烁体高50 mm,远大于放射源的射程,光在如此长的距离传输,势必会有所发散,从而影响能量分辨。为了验证此分析,在同种条件下对10 mm $\times$ 10 mm $\times$ 10 mm的CsI(Tl)闪烁体进行测试,能量分辨可达5.3%。

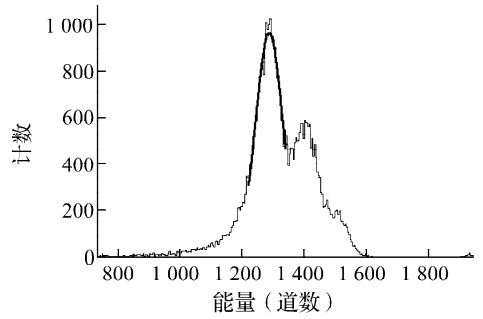


图3 阵列单元测试得到的 $\alpha$ 能谱

Fig. 3 Measured  $\alpha$ -energy spectrum by array unit

本工作研制的探测器已在“ $^{12}\text{C}$  碎裂反应的完全运动学测量”实验中得到应用。该实验利用兰州重离子加速器(HIRFL)提供的 $^{12}\text{C}$ 束流轰击RIBLL初级靶室的Be靶,通过RIBLL选择传输,得到 $^{9}\text{C}$ 次级束流。用次级束分别轰击薄靶(0.1 mm C靶和0.1 mm Pb靶)和厚靶(0.5 mm Pb靶),并探测出射粒子来实现反应产物完全运动学测量。图4示出实验中测得的 $\Delta E$ - $E$ 谱。由图4可见,该探测器结合薄的硅探测器( $\Delta E$ )可很好地探测到各反应道出射的 $^8\text{B}$ 、 $^7\text{Be}$ 等重离子,再结合硅微条探测器对质子进行测量,可推出各反应道截面、对应碎片动量分布等信息,通过重构不变质量谱,得出对应的 $^{9}\text{C}$ 共振激发态能级及两个质子的关联函数,从而达到实验设计的目的。实验数据显示,探测器对15、30 MeV质子的能量分辨可达3.3%和2.7%,对于110 MeV  $^7\text{Li}$ 和170 MeV  $^7\text{Be}$ ,能量分辨可达1.8%和1.5%,达到了实验对探测器的性能要求。

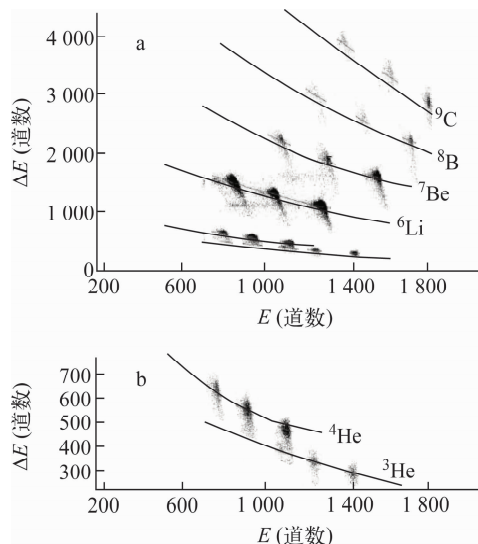


图4 结合硅探测器得到的  $\Delta E$ - $E$  谱

Fig.4  $\Delta E$ - $E$  spectra of CsI(Tl) array combined with Si detector

a——CsI(Tl)探测器谱;b——硅微条探测器谱

### 3 结论

基于放射性束核物理的发展需求,结合 RIBLL 的实际情况,研制了  $8 \times 8$  单元 CsI(Tl) 阵列探测器。探测器覆盖的立体角可满足实验需求。通过使用放射源测试和实验数据显示,探测器有很好的能量分辨,达到了实验的要求。

由于CsI(Tl)晶体具有良好的脉冲形状甄

别性能,希望以后结合探测器研制1套脉冲形状甄别系统。对于较轻的粒子( $Z \leq 3$ ),因在硅探测器中的能损较小,可用CsI脉冲形状甄别方法进行粒子鉴别,对于较重的碎片,则用 $\Delta E$ - $E$ 方法实现粒子鉴别,这样更易实现轻、重碎片的关联测量。

### 参考文献:

- [1] ZHAN Wenlong, GUO Zhongyan, LIU Guanhua, et al. Radioactive ion beam line in Lanzhou [J]. Science in China: Series A, 1999, 42(5): 528-536.
- [2] XI Hongfei, ZHAN Wenlong, GUO Zhongyan, et al. The use of CsI(Tl) scintillators with photodiode readout in heavy ion experiments [J]. Nucl Instrum Methods A, 1992, 320: 504-507.
- [3] MERCHEZ F, KOX S, PERRIN C, et al. A new setup for very small angle correlation measurements [J]. Nucl Instrum Methods A, 1989, 275: 133-141.
- [4] 李加兴, 郭忠言, 詹文龙, 等.  $5 \times 5$  阵列 PHOSWICH 闪烁探测器望远镜 [J]. 核电子学与探测技术, 2000, 20(5): 321-325.  
LI Jiaying, GUO Zhongyan, ZHAN Wenlong, et al. A  $5 \times 5$  PHOSWICH telescope detectors array [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2000, 20(5): 321-325 (in Chinese).